

## 機械構造設計における木質材料強度の考え方

著者	齊藤 金次郎, 野田 尚昭, 佐野 義一, 高瀬 康
雑誌名	設計工学
巻	55
号	10
ページ	607-613
発行年	2020-10-05
その他のタイトル	How to Consider the Strength of Engineered Wood in Mechanical Design
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/00008485">http://hdl.handle.net/10228/00008485</a>

別 刷

# 設計工学

公益社団法人 日本設計工学会誌

2020年 第55巻 第10号

---

( P. 607 ~ P. 613 )

機械構造設計における木質材料強度の考え方

斉藤 金次郎, 野田 尚昭, 佐野 義一, 高瀬 康

How to Consider the Strength of Engineered Wood in Mechanical Design

Kinjiro SAITOU, Nao-Aki NODA, Yoshikazu SANO

and Yasushi TAKASE

***jsde***

公益社団法人 日本設計工学会

## 機械構造設計における木質材料強度の考え方\*

## How to Consider the Strength of Engineered Wood in Mechanical Design

斉藤 金次郎<sup>\*1</sup>  
(Kinjiro SAITOU)

野田 尚昭<sup>\*2</sup>  
(Nao-Aki NODA)

佐野 義一<sup>\*3</sup>  
(Yoshikazu SANO)

高瀬 康<sup>\*4</sup>  
(Yasushi TAKASE)

**Key Words** : engineered wood, timber, plywood, stress, strain, fatigue, mechanical design, sliding door

## 1. はじめに

福祉機器などの機械装置では、製材や合板等の木質材料がしばしば使用される。その設計のため必要となる木質材料の強度は、建築設計規準を参照して求めることが可能であるが、機械設計と建築木材設計では設計思想が大きく異なる。例えば、機械設計では材料の疲労強度を基に部材形状を設計することが多いが、建築木材設計ではクリープ強度を用いる。また、機械設計で引張強さに相当する材料の破断強さは、建築木材設計では基準強度特性値と呼ばれる。このように建築木材設計においては、機械設計者には理解困難な用語や考え方が多い。

最近、著者らは図1 (a), (b)に示すような、住宅・介護施設・病院等において健康弱者の自立歩行を支援する収納式手摺付きの引き戸<sup>1), 2)</sup>を開発した。この収納式手摺を引き戸に設置することによって、廊下全長にわたって、連続的に手摺を設置することができる。これにより、歩行能力が低下した健康弱者でも、介護者を必要とせず、廊下全長をひとりで伝え歩くことが可能となる。健康弱者がこの手摺を使用する場合、手摺に掴まる手で体重の大半を支えることがあり、荷重を受ける手摺だけでなく、手摺を取付けている木製引き戸にも繰り返し荷重が生じる。著者らは、その繰り返し荷重条件下の耐久性の評価を行い、安全性を検証<sup>3), 4)</sup>した。

その開発において、著者らは、引き戸を安全に設

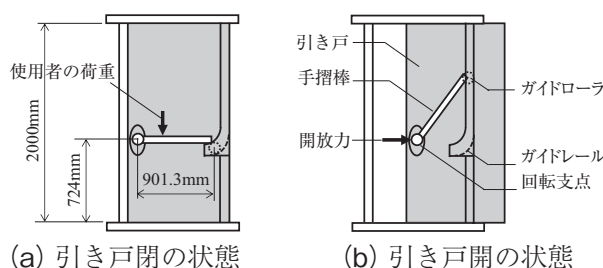


図1 収納式手摺

計するため、どのように木質材料の強度データを用いれば良いか、その難しさを実感した。すなわち、まず、機械設計の立場から木質材料の強度の取り扱いが明確ではない。例えば木質材料の疲労強度を扱った文献が少なく、耐久比(疲労強度/破断強さ)についての明確な規準がない。このため安全率を評価することも難しい。また、建築木材設計に関する基準には上記の問題がある。

そこで本稿では、建築設計と機械設計の用語や設計手法の違いを明確にするとともに、木質構造用材料に位置づけられる構造用製材と構造用合板の材料特性について、その強度の求め方や考え方を解説する。

## 2. 木質系構造用材料の基本的性質

日本農林規格(JAS規格)は、木質系構造用材料の樹種・等級毎の強度および品質を定め、登録認定機関による厳格な審査・管理がなされている。その日本農林規格では、構造用製材、構造用集成材、構造用単板積層材、構造用合板などの木質系構造用材料を総称して構造用材料<sup>5)</sup>と定義している。構造用材料は、規格・製造基準等により一定の品質が確保されたもので、構造上要求される強度・耐力、剛性および靱性を有し、かつ、使用期間を通じて要求性能

\* 原稿受付 2020年5月26日

\*1 正会員、日鉄テックスエンジニアリング(株)  
(〒805-0058 北九州市八幡東区前田字洞岡2142-1)

\*2 正会員、九州工業大学大学院工学研究院  
(〒804-0015 北九州市戸畑区仙水町1-1)

\*3 非会員、九州工業大学大学院工学研究院(同上)

\*4 正会員、九州工業大学大学院工学研究院(同上)

を保持できる耐久性を有するもの<sup>5)</sup>とされている。その中から構造用製材と引き戸の設計に関連する構造用合板について以下に述べる。

## 2.1 構造用製材の性質

構造用製材は、製材のうち、針葉樹を材料とするものであって、建築物の構造設計上主要な部分に使用することを主な目的とするものをいう。日本農林規格による製材の分類<sup>6)</sup>は、表1に示す通りである。

構造用製材は、品質基準として木材中の節などの欠陥を目視判別する目視等級と、縦弾性係数を測定・判別して強度をより精度良く推定できる機械等級の2種類の強度等級区分が制定されている。等級区分することで、製材の強度のばらつきをより狭い範囲に押さえ、木材の強度を合理的に活用することを可能としている。

木材は近似的にみると直交する3つの軸を持つ直交異方性材料であると定義されている<sup>7)</sup>。その3軸の方向と面を図2に示し、図3にスギの3方向引張試験の応力ひずみ線図を示す。図3は、沢田<sup>7)</sup>による繊維方向(L)、放射方向(R)、接線方向(T)の実験データをまとめたものである。図において、繊維方向(L)を例にとると、線分OC部分が直線域で線分CA部分が曲線域であり、C点が比例限度、A点が破断点である。繊維方向(L)では、針葉樹材のス

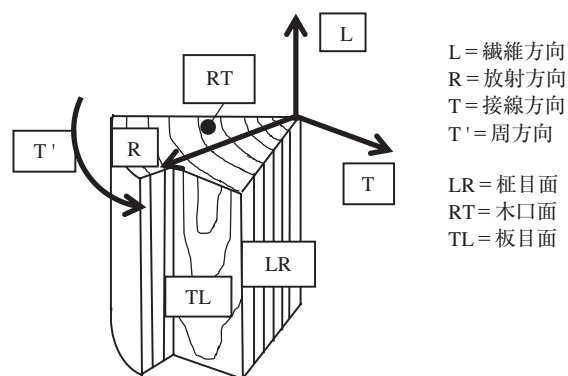


図2 木材の軸と面

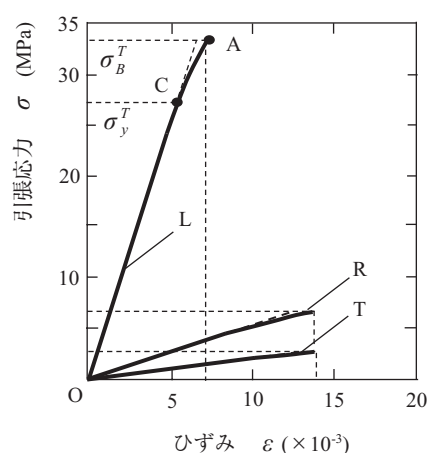


図3 スギの引張応力ひずみ線図

表1 製材の分類

区 分	説 明
製材	構造用製材 (針葉樹) 建築物の構造耐力上主要な部分に使用する針葉樹の製材。樹種は、あかまつ、べいまつ、からまつ、ひのき、すぎ等。
	目視等級区分 構造用製材のうち、節等の欠点を目視測定し、1～3等級に区分するもの。
	甲種構造材 主として高い曲げ性能を必要とする土台、大引、根太、梁、桁等を使用。
	構造用Ⅰ 木口短辺(厚さ)が36mm未満、および木口の短辺が36mm以上、かつ木口の長辺が90mm未満のもの。
	構造用Ⅱ 木口の短辺が36mm以上、かつ木口の長辺が90mm以上のもの。
	乙種構造材 主として圧縮性能を必要とする部分に使用。通し柱、管柱、床束等。
	機械等級区分 構造用製材 機械で弾性係数を測定し、E50～E150までの6等級に区分するもの。材面品質は目視等級区分乙種構造用3級の基準を満たすもの。
	造作用製材 敷居、鴨井、壁、その他の建築物の造作に使用する針葉樹製材のもの。
材	下地用製材 建築物の屋根、床等の下地に使用する針葉樹製材のもの。
	広葉樹製材 製材のうち、広葉樹を材料とするもの。

ギは破壊応力の点まで直線的である。

各方向の応力ひずみ線図を比較すると、強度と共に弾性係数に相当する応力ひずみ線図の傾きも、繊維方向(L)＞放射方向(R)＞接線方向(T)の順である。日本農林規格には、繊維方向(L)の材料特性値のみが規定されており、放射方向(R)および接線方向(T)を強度部材に使用することは無い。

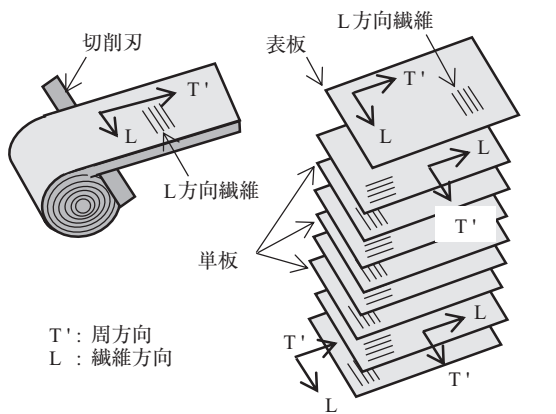
## 2.2 構造用合板の性質

合板は、木材の調湿作用、加工性等の優れた特性を備え、木材の欠点を改善し、単一板材より強く、板幅が広く、伸縮が少ない材料に作り上げた一種の合成板材である。

構造用合板は、合板のうち建築物の構造設計上主要な部分に使用するものであることが「合板の日本農林規格<sup>8)</sup>」で定義されている。すなわち、強度が問題となるところに使われることを想定して作られた合板である。曲げ強度と縦弾性係数値を指標として、強度等級1級と2級に分けられている。用途は1級2級共に筋交いが不要な耐力壁材、屋根下地材、

床下地材等であり、その中でも1級は構造計算を必要とする場所に用いられている。本稿では構造用合板1級を対象として述べる。

構造用合板の強度はその製造方法に直結するので、以下に製造方法について述べる。図4(a)に示すように、大根の桂むきのように原木を切削する。次に、薄い単板にしたものを、接着剤を塗布して図4(b)のように繊維の方向を90°互い違いに重ね合わせ、圧接成型するものである。図5に桑材<sup>9)</sup>による構造用合板の引張応力ひずみ線図を示す。この試験材は、公称厚み21mmの構造用合板1級、板面の品質B-C、積層数9プライ(枚とも言う)のラワン合板である。試験荷重の方向は直交する表層板のL方向、T'方向であり、両方向とも直線的で、その終点が破断点となっており、脆性的である。また、図5において、表層板のL方向の引張りがT'方向より



(a) 原木の切削 (b) 単板9プライの積層

図4 合板の製造方法

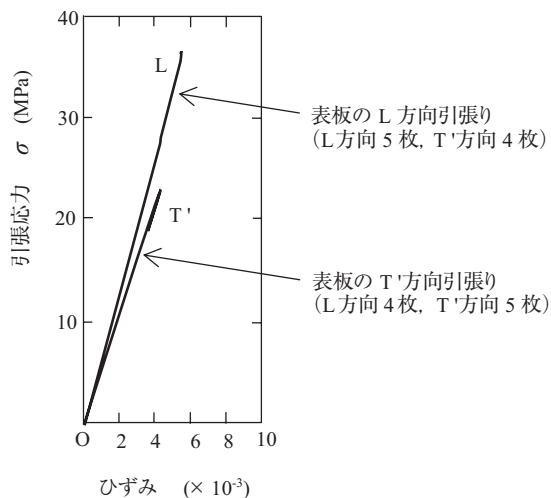


図5 構造用合板1級の引張応力ひずみ線図 (ラワン合板)

大きな値となっているのは、積層数が奇数であり、強度の強いL方向の枚数が1枚多いことによるものである。奇数積層は外観上の理由等により、表裏の繊維方向を揃えているためである。繊維方向の違いによる強度については、日本農林規格で表板の表層繊維と平行方向および直角方向の引張強さが規定されている。この奇数積層が合板に及ぼす強度の違いを以下に述べる。

表2は図3に示したスギ材<sup>7)</sup>と、ラワン材単板<sup>9)</sup>、および図5に示したラワン合板のL方向とTおよびT'方向の引張強さの比較である。図6(a)にT'方向の板切り出し図を示し、図6(b)にT方向の板切り出し図を示す。表2よりスギ材、ラワン材単板ともにL方向がTおよびT'方向に対して強度比0.08および0.03と異方性が強い。TおよびT'方向は、年輪目を引っ張るため強度的に弱い。

これに対し、L方向とT'方向を交互に重ね合わせたラワン合板は、表板の方向による強度比(T'/L)は0.65であり、等方材に近づき、合板が原木の異方性を緩和し強度を向上させることが分かった。

次に、日本農林規格に規定された構造用合板1級C-C等級材において、表板の繊維方向の違いによる基準許容応力度(引張り)<sup>5)</sup>の差を表3で比較してみる。単板厚さが薄い5.0mm、7.5mm厚さを除けば、L方向とT'方向の基準許容応力度の強度比(T'/L)は1にほぼ等しく等方材とみなすことができる。なお基準許容応力度については、3.3項で説明する。

表2 L, TまたはT'方向の強度比較

板の種類	引張強さ(MPa)			強度比 (T/L, T'/L)
	L方向	T方向	T'方向	
スギ	33.3	2.63	—	0.08
ラワン材 単板	45.8	—	1.37	0.03
板の種類	引張強さ(MPa)			強度比 (T/L, T'/L)
	表板が L方向	—	表板が T'方向	
ラワン合板	36.4	—	23.6	0.65

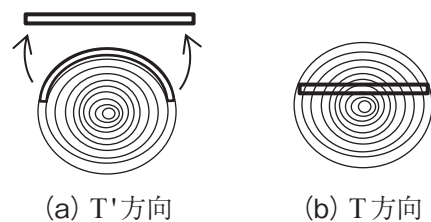


図6 T方向, T'方向の説明図



表3 構造用合板1級基準許容応力度(引張り)比較

合板 厚さ (mm)	積 層 数	単板 厚さ (mm)	表板の L方向 (MPa)	表板の T'方向 (MPa)	強度比 (T'/L)
5.0	3	1.6	6.0	3.5	0.58
6.0	3	2.0	5.0	4.5	0.90
7.5	5	1.5	5.5	3.5	0.64
9.0	5	1.8	4.5	4.5	1.00
12.0	5	2.4	4.5	4.5	1.00
15.0	7	2.1	3.5	5.5	1.57
18.0	7	2.5	4.5	4.5	1.00
21.0	7	3.0	4.5	4.5	1.00
24.0	9	2.6	4.5	4.5	1.00
平均値	—	—	4.7	4.4	0.97

### 3. 構造用材料の強度

機械設計上材料の破断強さは、降伏点とともにすべての基準になる。木質構造用材料を用いた構造設計を機械設計的に行う場合には、建築設計で用いられる強度用語との整合が必要となる。以下に静的強度と環境劣化、ならびに疲労強度について考察する。

#### 3.1 破断強さ $\sigma_B$ に相当する「基準強度特性値 ${}_0F$ (建築設計)」

木質構造設計規準<sup>5)</sup>では、構造用材料の引張り、圧縮、曲げ等の標準試験で得られた破断強さに統計処理手法を施して求められた値を基準強度特性値 ${}_0F$ と定めている。この ${}_0F$ は、機械設計的には破断強さ $\sigma_B$ に相当し、次式で表すことができる。

$${}_0F(\text{建築設計}) = \sigma_B(\text{機械設計}) \quad (1)$$

金属材料と違い、木材では個々の強度差がかなり大きい。木材は生長の過程や環境変化等で、材料特性が変動するため、無欠点の理想的な小試験体ですら強度性能にばらつきが生じる。この他に製材の長手方向と木材繊維の傾斜度合いや節等によっても強度に影響を受ける。そこで、建築物の構造設計ではこのようなばらつきを考慮して、実験データに基づいて統計学的に推定した安全な値を用いている。

木質構造設計規準<sup>5)</sup>によると、標準試験体を用いた標準試験により得られた材料の破断強度の値を適当な分布(正規分布、ワイブル分布等)にあてはめ、その強度分布の75%信頼水準における5%下限値を基準強度特性値 ${}_0F$ と定義している。すなわち、100本に5本は基準強度を下回ることを許して、弱い方

から5%に相当する値を採用するということである。図7に示すTL値が75%信頼水準における5%下限値である<sup>10), 11)</sup>。

#### 3.2 環境劣化を考慮した破断強さに相当する「基準材料強度 $F$ (建築設計)」

構造用合板のように、接着剤を使用した材料においては、破断強度値に環境に対する時間劣化を考慮する必要がある。したがって、接着材を使用しないものは時間劣化を考慮しない。合板は、接着部分が熱・温度・湿度・紫外線・水濡れ等の使用環境によって劣化する。そこで木質構造設計規準<sup>5)</sup>では、基準強度特性値 ${}_0F$ に劣化影響係数 $K_t$ を乗じたものを基準材料強度 $F$ と定義している。ここでは、劣化影響係数 $K_t$ を機械設計的に環境劣化係数 $\xi$ とする。構造用合板で $\xi$ に相当する $K_t$ は基準強度特性値 ${}_0F$ に対して $\xi = 6/7$ と定められ、引張り・圧縮にも用いられている。これらを、建築設計に用いる場合は式(2)で表される。一方、機械設計に用いる場合は式(3)で表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{基準材料強度(建築設計)} F \\ = {}_0F \times K_t \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 ${}_0F$  = 基準強度特性値、 $K_t$  = 劣化影響係数

$$\begin{aligned} \text{基準材料強度(建築設計)} F \\ = \text{破断強さ(機械設計)} \sigma_B \times \xi \\ = \sigma_B \times 6/7 = 0.86 \sigma_B \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $K_t$ (建築設計) =  $\xi$ (機械設計) =  $6/7 = 0.86$

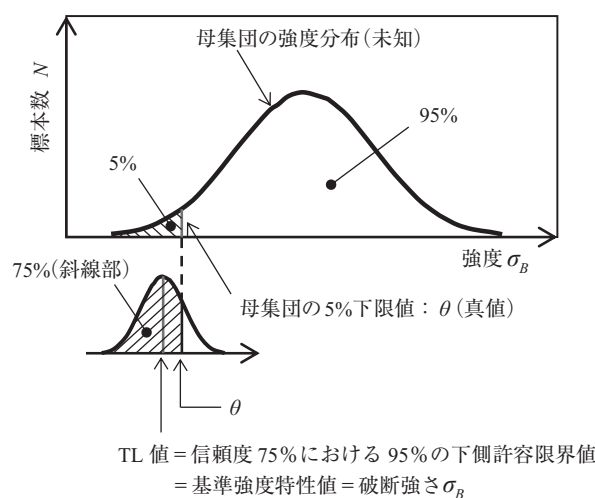


図7 75%信頼水準における5%下限値

### 3.3 疲労限 $\sigma_w$ に相当する「基準許容応力度 $_0f$ (建築設計)」

負荷の繰り返しの下で使われる場合、機械設計では疲労限 $\sigma_w$ が用いられる。構造用材料の基準許容応力度 $_0f$ は、破断強度に対して環境劣化と経年低下および弾性低下を考慮したもので、結論として機械設計の疲労限 $\sigma_w$ に相当する。そのことは、4.2節で考察する。

まず、木材設計による構造用合板の基準許容応力度 $_0f$ は、式(4)で求められる。

$$\begin{aligned} \text{基準許容応力度(建築設計)}_0f &= F \times K_0 \times K_f \\ &= (_0F \times K_t) \times K_0 \times K_f \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $F$  = 基準材料強度、 $_0F$  = 基準強度特性値、 $K_t$  = 劣化影響係数(接着剤を用いないものは $K_t = 1$ )、 $K_0$  = 基準化係数、 $K_f$  = 安全係数

これを機械設計では、式(5)、(6)で表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{基準許容応力度(建築設計)}_0f &= \sigma_w \text{ (機械設計)} \\ &= \sigma_B \text{ (機械設計)} \times \xi \times \xi_1 \times \xi_2 \\ &= \sigma_B \times 0.86 \times 1/2 \times 2/3 \\ &= 0.29 \sigma_B \end{aligned} \quad (5) \quad (6)$$

式(6)より、疲労耐久比(疲労限 $\sigma_w$ /破断強さ $\sigma_B$ )は $\sigma_w/\sigma_B = 0.29$ である。ここで、 $K_0 = \xi_1 = 1/2$ 、 $K_f = \xi_2 = 2/3$ とされており、 $K_0 = \xi_1$ を経年強度低下係数と呼ぶことにする。この $\xi_1$ は、建築物の部材に250年間にわたって荷重が作用し続けることを考慮したもので、材料のクリープ破壊特性に基づいて決定される係数である。また、 $\xi_2$ は破断強さを弾性限度まで低く見積もった係数で、一種の安全率とみなすこともできる。

## 4. 構造用合板における疲労限の一考察

### 4.1 木材の疲労限

木質材料の繰り返し荷重に対する疲労試験は極めて少ない。その中でも比較的新しい結果を図8に示す。この図は今山ら<sup>12)</sup>の曲げ疲労試験によるS-N曲線である。試験片は、樹齢40年のスギ樹幹丸太(含水率は12~15%)の成熟材から採取し、柁目長手方向中央の集中荷重による両振り繰り返し曲げ応力を与える。縦軸は、曲げ強さ $\sigma_B$ に対する曲げ応力振

幅 $\sigma_a$ の比 $\sigma_a/\sigma_B$ である。この図より、曲げ疲労耐久比 $\sigma_{wb}/\sigma_B = 0.32$ が読み取れる。

### 4.2 構造用合板における疲労限の考察

木質構造設計規準<sup>5)</sup>に疲労強度に関する記載がない等、構造用合板の疲労試験データを見出すのは容易ではない。そのような中で、60年ほど前の満久の木質材料の疲労に関する解説<sup>14), 15)</sup>がある。木質構造材料の耐久比 $\sigma_w/\sigma_B$ は、規格破断強度に対して $\sigma_w/\sigma_B = 0.22 \sim 0.33$ の範囲にあることが示されているが、合板に限定されたものではない。

表4は、これまでに入手できた木材の耐久比 $\sigma_w/\sigma_B$ をまとめて示す。表4によれば耐久比は、0.29~0.33で、全て満久の報告した範囲に含まれている。また、著者らが収納式手摺<sup>1), 2)</sup>の開発において、表4、No.1に示す引き戸強度検討に採用した構造用合板の耐久比0.3は、表4、No.2に示す構造用合板の基準許容応力度 $_0f$ の耐久比0.29とほぼ等しい値であった。

本稿で著者らが算出した構造用合板の基準許容応力度(建築設計) $_0f$ が機械設計から見た疲労限 $\sigma_w$ に相当する値であることも明らかである。

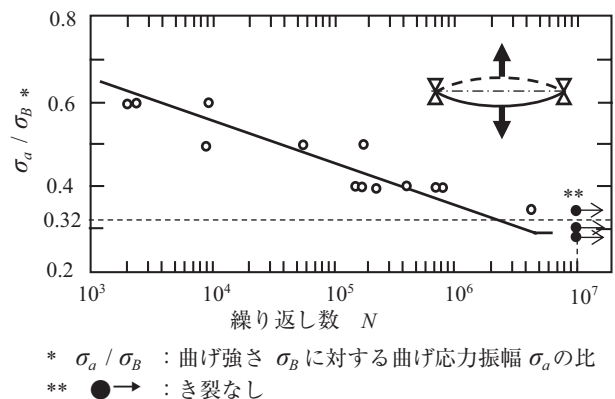


図8 スギ材の繰り返し曲げ疲労におけるS-N曲線

表4 耐久比 $\sigma_w/\sigma_B$ の算定事例

No.	耐久比 $\sigma_w/\sigma_B$ 算定の例	耐久比 $\sigma_w/\sigma_B$
1	著者らが用いた構造用合板の耐久比 <sup>4)</sup>	0.30
2	構造用合板の耐久比 (式(6)参照)	0.29
3	構造用製材の耐久比 (式(5), (6)参照, $\xi = 1.0$ )	0.33
4	木材の耐久比 <sup>12)</sup> (図8参照)	0.32

## 5. 建築設計強度用語の機械設計との対比と事例

表5に建築設計強度用語の機械設計との対比をまとめて示す。

表6は、木質材料設計規準<sup>5)</sup>および木質構造限界状態設計指針(案)<sup>13)</sup>に示される構造用製材(甲種構造材)の繊維方向(L)の強度を示す。表7は、同じく木質材料設計規準<sup>5)</sup>および木質構造限界状態設

計指針(案)<sup>13)</sup>に示される構造用合板1級材の表板の繊維方向の値であり、板厚6種類を抜粋し機械特性を示す。表6および表7からそれぞれの耐久比は0.33, 0.29と読み取れる。

## 6. 終わりに

著者らは図1(a), (b)に示すような、健康弱者の自立歩行を支援する収納式手摺付きの引き戸<sup>1), 2)</sup>を開発した。その強度設計において、木質材料の強度

表5 建築、機械のそれぞれの設計に用いる用語 \*：著者らが本稿で用いる記号

木材設計		機械設計		備 考
名 称	記号	名 称	記号	
基準強度特性値	${}_0F$	破断強さ	$\sigma_B$	統計処理による規格値
基準材料強度	$F$	劣化を考慮した破断強さ	$0.86\sigma_B$	環境による接着材の時間劣化を考慮した強度
基準許容応力度	${}_0f$	疲労限	$\sigma_w^*$	両振り繰返し応力による疲労強度
劣化影響係数	$K_t$	環境劣化係数	$\xi^*$	環境による接着材の時間劣化を考慮する係数
基準化係数	$K_o$	経年強度低下係数	$\xi_1^*$	クリープを考慮する係数
安全係数	$K_f$	一種の安全率	$\xi_2^*$	破断強さを弾性限へ低減するための係数

表6 構造用製材(甲種構造材)の繊維方向縦弾性係数、引張り破断強さと疲労限(耐久比0.33)

樹種	等級	縦弾性係数 $E(\text{GPa})$	*1 基準強度特性値 ${}_0F$	*1 基準許容応力度 ${}_0f$
			*2 破断強さ $\sigma_B^T(\text{MPa})$	*2 疲労限 $\sigma_w^T(\text{MPa})$
スギ	1級	4.5	16.2	5.4
	2級		15.6	5.2
	3級		13.8	4.6
ヒノキ	1級	8.5	22.8	7.6
	2級		20.4	6.8
	3級		17.4	5.8

\*1 建築設計用語, \*2 機械設計用語

表7 構造用合板1級材の表板繊維方向縦弾性係数、引張り破断強さと疲労限(耐久比0.29)

厚さ (mm)	積層数	縦弾性係数 $E(\text{GPa})$	*1 基準強度特性値 ${}_0F$			*1 基準許容応力度 ${}_0f$		
			*2 破断強さ $\sigma_B^T(\text{MPa})$			*2 疲労限 $\sigma_w^T(\text{MPa})$		
		A-A~D-D	A-A B-B	*3 A-C B-C C-C	A-D B-D C-D D-D	A-A B-B	A-C B-C C-C	A-D B-D C-D D-D
5.0	3	5.5	22.4	20.6	18.9	6.5	6.0	5.5
9.0	5	4.5	17.1	15.4	13.6	5.0	4.5	4.0
12.0	5	4.5	17.1	15.4	13.6	5.0	4.5	4.0
15.0	7	3.5	13.6	11.9	10.1	4.0	3.5	3.0
21.0	7	4.5	17.1	15.4	13.6	5.0	4.5	4.0
24.0	9	4.5	17.1	15.4	13.6	5.0	4.5	4.0

\*1 建築設計用語, \*2 機械設計用語

\*3 A~Dは合板の表面と裏面の品質等級を表し、Aが最高である<sup>16)</sup>。

A-C：合板表面の品質等級A、裏面の品質等級C。



データをどのように用いれば良いか、その難しさを実感した。そこで、著者らは建築設計と機械設計分野それぞれにおける強度に関する用語や適用方法の違いを明らかにし、それらの比較対比を、実際例を挙げて示した。本稿が木材構造物の機械設計に携わる技術者・研究者に参考にしていただければ幸いである。

### 参考文献

- 1) ケイ・プロダクツ(株), 引き戸用手摺, 引き戸装置, 特許出願2010-102602, 公開番号2011-231513.
- 2) ケイ・プロダクツ(株), 引き戸用手摺, 引き戸装置, 特許出願2012-133492, 公開番号2013-256808.
- 3) 斉藤金次郎, 野田尚昭, 佐野義一, 高瀬康, 村井克成, 王澤鋒, 李蘇瓊, 劉瀟, 田中洋征, 久保嘉孝: 高齢者・障害者の自立歩行を支援する手摺収納式引き戸装置の開発(第1報, 引き戸開口力のシミュレーション), 日本設計工学会誌, 52, 8 (2017), 503.
- 4) 斉藤金次郎, 野田尚昭, 佐野義一, 高瀬康, 村井克成, 王澤鋒, 李蘇瓊, 劉瀟, 田中洋征, 久保嘉孝: 高齢者・障害者の自立歩行を支援する手摺収納式引き戸装置の開発(第2報, 収納式引き戸の強度解析と実験的検討), 日本設計工学会誌, 54, 12 (2019), 843.
- 5) 日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説, 丸善, (2006), 149.
- 6) 製材の日本農林規格, 平成19年8月29日農林水産省告示第1083号.
- 7) 沢田稔: 木材の強度特性に関する研究 主として, その木材梁への適用, 日本林業学会, 日本林學會誌, 41 (1959), 118.
- 8) 合板の日本農林規格, 平成26年2月25日農林水産省告示第303号.
- 9) 桑村仁: 合板の面内挙動における異方弾性と強さ, 日本建築学会構造系論文集, 75, 653 (2010), 1317.
- 10) 中村昇, 山崎真理子, 村田功二: ティンバーメカニクス, 木材の陸学理論と応用, 海青社, (2015), 144.
- 11) 佐藤公紀, 岡田章, 宮里直也, 廣石秀造, 斎藤公男: 木造面格子壁の格子間隔が剛性および

耐力に及ぼす影響に関する研究(その3)木材の区順強度が面格子壁の構造性能に及ぼす影響, 日本大学理工学部学術講演会論文集, (2013), 77.

- 12) 今山延洋・松本昴: 木材の疲れに関する研究(第1報), 木材学会誌, 16, 7 (1970), 319.
- 13) 日本建築学会: 木質構造限界状態設計指針(案)・同解説, 丸善, (2003), 155.
- 14) 満久崇磨: 木質材料の疲労, 日本材料学会, 材料試験, 10, 98 (1961), 24.
- 15) W. J. Kommers, U. S. Dept. FPL, No.1327 (1944), No.1327-A (1960).
- 16) 杉山英男, 菊池重昭, 野口弘行, 鈴木秀三, 神谷文夫, 安村基: 建築学の基礎1木質構造第3版, 共立出版, (2005), 60.

斉藤 金次郎



1983年 九州工業大学工学部Ⅱ部機械工学科卒業. 1984年 (株)日研工作所入社. その後大喜工業(株)を経て現在, 日鉄テックスエンジニアリング(株)機械事業本部八幡庄延機械エンジニアリングにて薄板鋼板処理設備の設備設計に従事. 第71回新技術開発財団新技術開発助成事業受託・完了.

野田 尚昭



1984年 九州大学大学院工学研究科機械工学専攻博士課程修了. 九州工業大学工学部講師・助教授を経て, 現在教授. 焼嵌め式ローラや特殊ボルト等の産学連携に関する研究に従事. 日本設計工学会論文賞受賞. 日本機械学会フェロー. 自動車技術会フェロー. 日本材料学会九州支部長.

佐野 義一



1967年 九州大学大学院機械修了. 日立金属(株)入社. 1992年 技師長. 1996年 九州大学より博士(工学)授与. 学術研究員. 九州工業大学支援研究員を経て(株)ホーシン技術顧問. 焼嵌め式ローラの構造設計に関する研究に従事. (公社)日本設計工学会2019年度論文賞受賞.

高瀬 康



1985年 九州工業大学技術職員. 1993年 同工学部設計生産工学科夜間主コース卒業. 2002年 技術専門職員. 2007年 「任意寸法の試験片に対して正確な応力集中係数を与える計算式に関する研究」で博士(工学). 2020年度日本塑性加工学会教育賞受賞. 本会会員.